

Trasplante del manto en el corazón de Pangea

GABRIEL GUTIÉRREZ-ALONSO¹,
JAVIER FERNÁNDEZ-SUÁREZ²
J. BRENDAN MURPHY³

¹ Departamento de Geología, Universidad de Salamanca, 33708 Salamanca (gabi@usal.es)

² Departamento de Petrología y Geoquímica, Universidad Complutense y CSIC-IGEO, 28040 Madrid

³ Department of Earth Sciences, St. Francis Xavier University, Antigonish, Nueva Escocia, B2G 2W5 Canadá

Los procesos que modelan nuestro planeta, incluida la distribución actual de los océanos y continentes, involucran unas cantidades de energía cuya magnitud no es fácil de entender o imaginar por la mayoría de nosotros. Aún así, podemos llegar, hasta cierto punto, a entender qué mecanismos son los responsables de los relieves que modelan nuestros continentes y que producen grandes cadenas montañosas.

Son los procesos que han ocurrido y ocurren hoy en día entre la astenosfera y la parte inferior de la litosfera los que tienen una mayor importancia a la hora de entender la evolución de nuestro planeta y, en muchos casos, son los responsables de la existencia de los recursos minerales que sostiene nuestra sociedad actual. Sin embargo, es difícil saber qué ocurre en ese límite, situado entre 70 y 200 km de profundidad donde solo a través de métodos indirectos podemos llegar a conocer de manera parcial los eventos geológicos que suceden a esas profundidades.

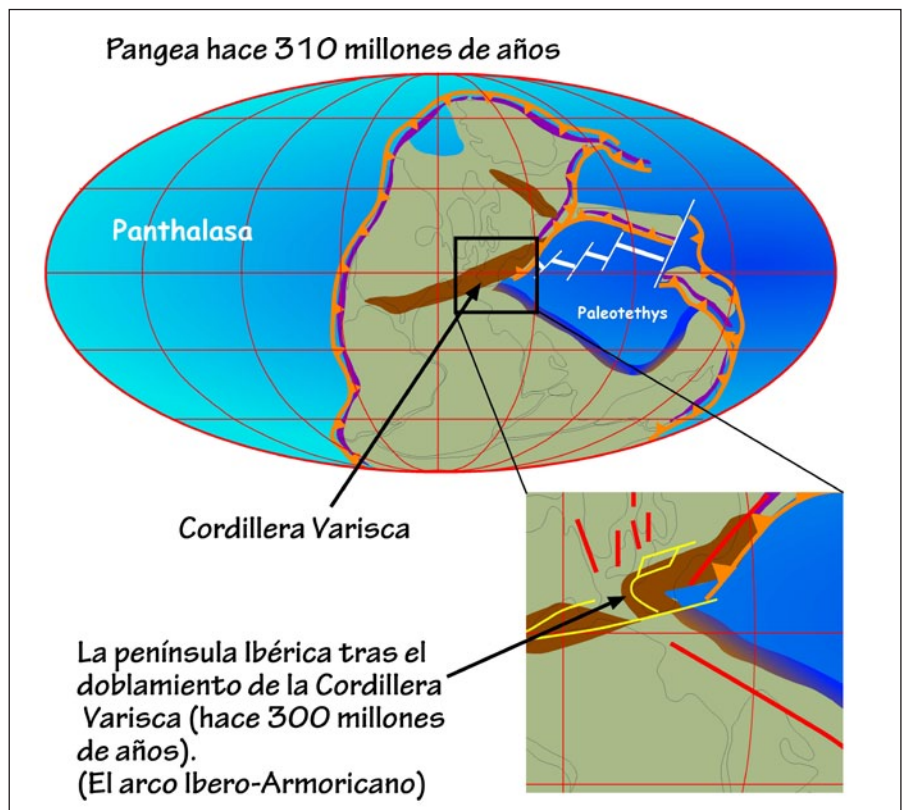
Para conocer qué procesos suceden a tan remotas profundidades se utilizan rocas que provienen de ellas, generalmente en la forma de magma que llega a la superficie a través de volcanes, y preferentemente en los casos en que esto ha ocurrido sin haberse mezclado con rocas de la corteza. Sus características geoquímicas, obtenidas utilizando sofisticados análisis y especialmente el uso de los isótopos de elementos como el samario y

el neodimio, permiten establecer cuándo sucedieron procesos en los que el manto se vio involucrado.

La relación de los isótopos de los elementos del grupo de las tierras raras, samario (Sm) y neodimio (Nd) existente en las rocas puede servir para identificar cuándo fue la primera vez que los componentes de esas rocas se cristalizaron a partir del manto terrestre y concretamente cuando el manto astenosférico se convirtió en manto litosférico. Estos isótopos, que son radioactivos, se convierten de manera espontánea en otros isótopos estables desprendiendo energía en el proceso. El tiempo que tarda la mitad del contenido de un “elemento padre” inestable en convertirse en su “elemento hijo” más estable se denomi-

na vida media, y es constante para cada sistema isotópico (cuanto más lento es el ritmo de desintegración de un isótopo radiactivo, mayor es su vida media). El ritmo de desintegración (llamado constante de desintegración y expresado en unidades recíprocas de tiempo) de la mayoría de los isótopos radiactivos de interés geológico se conoce con precisión y la relación entre isótopos padres e hijos se puede medir en las sustancias naturales por espectrometría de masas y se usa para calcular cuánto tiempo ha pasado desde que comenzó el proceso de transformación de unos isótopos en otros. Así, el samario-147 (¹⁴⁷Sm) es un isótopo radiactivo que se convierte espontáneamente en neodimio-143 (¹⁴³Nd), que es estable. Por ello, la can-

Figura 1. Mapa de nuestro planeta hace 310 millones de años donde todas las masas continentales estaban amalgamadas en un supercontinente llamado Pangea. En el recuadro inferior se aprecia la forma que adquirió la cordillera Varisca tras el doblamiento sufrido en el sector que hoy en día es la península Ibérica.



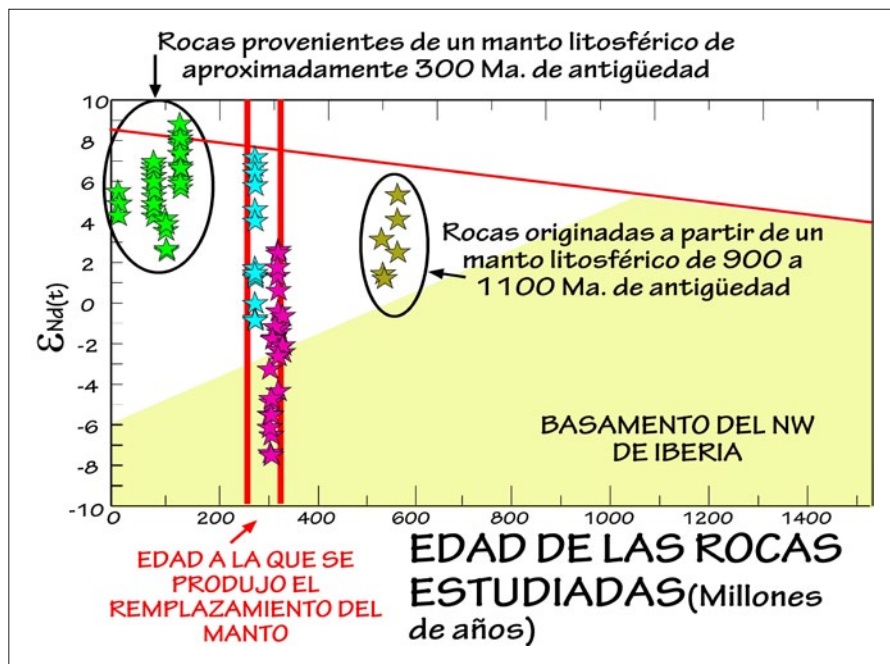


Figura 2. Diagrama ϵ_{Nd} vs. Edad de las rocas derivadas del manto litosférico situado bajo Iberia en donde se representan las relaciones $^{143}Nd/^{144}Nd$ a lo largo del tiempo. La relación de isótopos de neodimio (ϵ_{Nd}) en las rocas puede indicar cuándo fueron extraídas del manto terrestre por primera vez. Esta relación, como si fuese su firma, permanecerá para siempre hasta que la roca se vuelva a incorporar al manto - incluso si la roca es fundida y reciclada. Cuando los autores estudiaron las rocas ígneas de la edad que se representa en el eje de abscisas, expresadas en millones de años, contra los valores de ϵ_{Nd} , en el eje de ordenadas, se percataron de que para rocas de diferentes edades, el manto litosférico del que provenían tenía, asimismo, edades muy diferentes. La lectura de la edad del manto litosférico del que provienen las rocas estudiadas no es directa a partir del gráfico, por lo que se han separado en colores que indican los intervalos de edad del manto litosférico utilizados en el texto obtenidos utilizando otros cálculos matemáticos. Las estrellas verdes se corresponden con rocas cambro-ordovícicas con edades modelo entre 900 y 1100 millones de años; las estrellas de color fucsia son las correspondientes a rocas entre 310 y 300 millones de años y muestran la mezcla de los fundidos del manto litosférico antiguo con rocas corticales de edad probablemente paleoproterozoica; las estrellas azules, que resultan de las rocas ígneas generadas entre 300 y 270 millones de años, indican la mezcla del manto litosférico antiguo con el manto astenosférico que va a dar lugar al nuevo manto litosférico; por último, las estrellas verdes muestran los datos obtenidos a partir de rocas mesozoicas y cenozoicas y que reflejan la existencia de un manto litosférico que se formó en torno a 290 millones de años. Las indicaciones de color son aplicables a la versión en Pdf.

tividad de ^{143}Nd aumenta a medida que disminuye la de ^{147}Sm . La vida media para esta transformación es de 106.000 millones de años y el “reloj isotópico” se pone en marcha cuando las rocas del manto astenosférico se convierten en litosfera.

De esta manera, los magmas que alcanzaron la superficie terrestre provenientes del manto litosférico mantienen la relación $^{143}Nd/^{144}Nd$ de la fuente que los originó, por lo que nos pueden proporcionar, siempre que no hayan sido contaminados por rocas de la corteza, la edad del manto litosférico del cual derivan. De este modo, las rocas que han sido derivadas de una litosfera formada hace mucho tiempo se pueden diferenciar de aquellas que fueron derivadas de una litosfera generada más recientemente.

Estos cálculos deben ser usados con precaución, dado que a medida que estos magmas ascienden hacia la superficie se

pueden mezclar con otros fundidos de origen diferente. Hay que advertir que muestras procedentes de magmas mezclados dan resultados que no son fácilmente interpretables. De todas maneras, se puede detectar si ha habido mezcla usando otros indicadores geoquímicos y, en ese caso, estas rocas de origen incierto son excluidas de los cálculos realizados.

Mediante el uso de estos isótopos, investigadores de las universidades de Salamanca, Complutense de Madrid, STFX (Canadá) y Bryn Mawr (Filadelfia, USA), han publicado en el número de febrero de 2011 de la revista GEOLOGY un estudio que revela la existencia de una sustitución del manto litosférico existente bajo Iberia hace trescientos millones de años, cuando Iberia se situaba en el centro del último supercontinente que ha existido en nuestro planeta, Pangea (Figura 1).

En efecto, las rocas volcánicas derivadas del manto litosférico más antiguas de la Península Ibérica, de las que existen datos de Sm/Nd, cámbricas y ordovícicas (540-470 millones de años), previas a la orogenia Varisca, nos indican que ese manto litosférico se formó hace 900 a 1100 millones de años, sin que tengamos ninguna evidencia de qué procesos se vieron involucrados en su formación (Figura 2). Por otro lado las rocas más recientes derivadas del manto litosférico, de edad mesozoica y cenozoica, nos indican que éste se generó hace aproximadamente 300 millones de años lo que indica que el manto litosférico que subyace Iberia en la actualidad substituyó a otro más antiguo y del que no quedan prácticamente rastros a no ser que los busquemos en las rocas derivadas de la litosfera de edades anteriores a los 300 millones de años. Además, utilizando así mismo los isótopos de samario y neodimio, las rocas ígneas en las que existen evidencias de participación de fundidos provenientes del manto y que fueron generadas durante la orogenia Varisca o inmediatamente después (entre 310 y 270 millones de años)

Figura 3. Esquema temporal de los eventos acaecidos en el manto litosférico de Iberia descritos en este artículo y localización temporal de las rocas utilizadas para estudiarlos. La escala temporal varía entre el Precámbrico y el Fanerozoico.



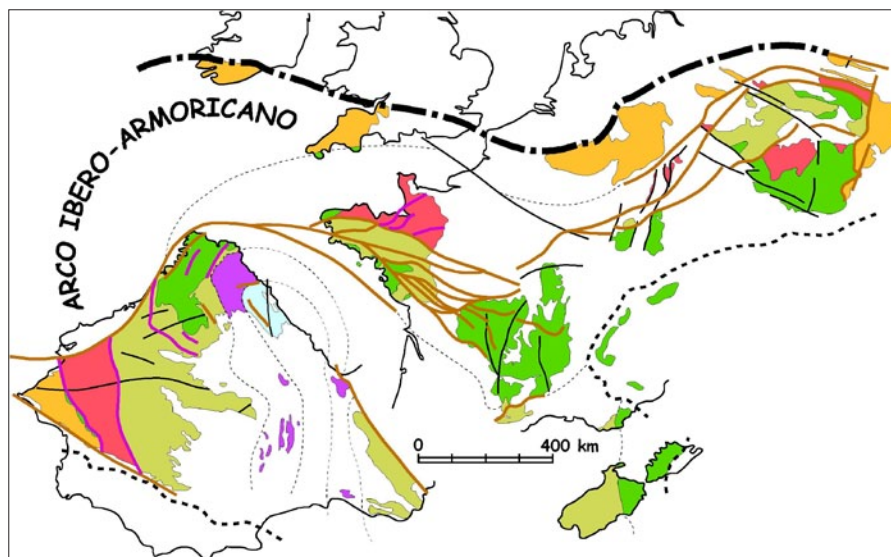


Figura 4. Esquema geológico del occidente de Europa, antes de la apertura del Golfo de Vizcaya donde se aprecia la forma del Arco ibero-armoricano.

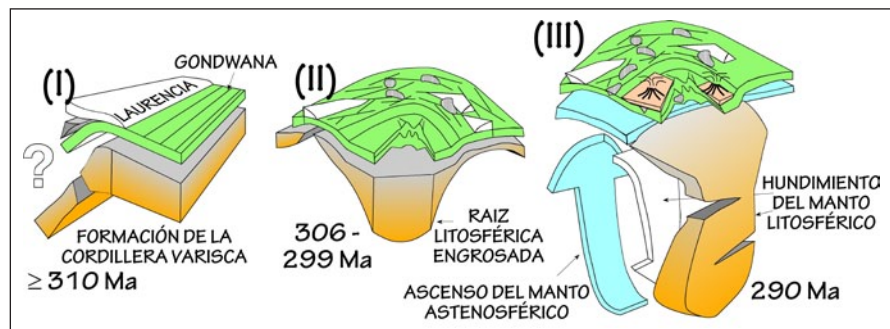
nos muestran que durante ese periodo se produjeron grandes cambios en el manto litosférico que quedan reflejados en la relación $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ de estas rocas y nos indican que hubo una intensa fusión del manto litosférico antiguo que se mezcló con fundidos corticales provenientes de rocas mucho más antiguas del basamento de Iberia. En las rocas ígneas generadas inmediatamente después, en el Pérmico inferior (entre 300 y 270 millones de años), se puede reconocer cómo estos últimos fundidos del manto litosférico se mezclan con los fundidos del nuevo manto litosférico que se está generando, lo que se refleja en la tendencia de las edades modelo de estas rocas hacia valores cada vez más jóvenes (Figuras 2 y 3). Este cambio en la edad del manto litosférico se atribuye a un proceso de reemplazamiento cuya posible causa se explica a continuación.

Este reemplazamiento del manto litosférico se produjo al mismo tiempo que otro de los grandes eventos geológicos de Iberia. Tras la génesis de la gran cordillera montañosa Varisca que tuvo lugar hace aproximadamente entre 360 y 310 millones de años como consecuencia de la colisión entre los continentes que se conocen con el nombre de Gondwana y Laurasia y que, junto a otros bloques continentales, dio lugar al supercontinente Pangea, esta cadena montañosa, que inicialmente tenía una geometría lineal, se dobló en forma de herradura dando lugar a lo que se conoce como Arco Iberoarmoricano que se extiende por todo el oeste peninsular y se conti-

núa en la Bretaña francesa (Figura 4).

El doblamiento de la gran cordillera Varisca afectó a toda la litosfera y fue el causante de que el manto litosférico que subyacía Iberia desde aproximadamente 1000 millones de años y del que desconocemos el proceso que lo generó, fuese “trasplantado” por otro más joven que se generó hace solamente 290 millones de años.

Figura 5. Esquema en donde se muestra la evolución de la península ibérica entre hace 310 y 290 millones de años donde se representa el proceso de curvatura de la litosfera antigua y su reemplazamiento por litosfera más moderna.



Para saber más*:

*Para obtener más documentación, ponerse en contacto con los autores en gabi@usal.es.

Gutiérrez-Alonso, G., Murphy, J.B., Fernández-Suárez, J., Weil, A.B., Franco, M.P. y Gonzalo, J.C., 2011. Lithospheric delamination in the core of Pangea: Sm-Nd insights from the Iberian mantle. *Geology*, 39, 155-158.

Gutiérrez-Alonso, G., J. Fernández-Suárez, A. B. Weil, J. B. Murphy, R. D. Nance, F. Corfu, y S. T. Johnston (2008). Self-subduction of the Pangaean global plate. *Nature Geoscience*, 1(8), 549-553.

Gutiérrez-Alonso, G.; Fernández-Suárez, J. y Weil, A.B. (2004). Orocline triggered lithospheric delamination. En Weil, A.B., y Sussman, A., (eds.), *Paleomagnetic and structural analysis of orogenic curvature*, Volumen 383: Special Paper: Boulder, Geological Society of America, 121-131.

En efecto, al doblarse la cordillera Varisca, sus raíces más profundas se engrosaron de forma dramática hundiéndose en el manto astenosférico. Este abultamiento de la litosfera mantélica, que hasta entonces se hallaba flotando sobre la astenosfera, se volvió inestable, por lo que se desgajó de la parte de la litosfera más superficial y comenzó a hundirse en el manto, de manera similar a como está ocurriendo en la actualidad en algunas zonas de los Cárpatos, por ejemplo. Al hundirse este enorme volumen de litosfera fue reemplazado por material del manto situado por debajo, la astenosfera, más caliente, que a medida que fue enfriándose se convirtió en la nueva litosfera mantélica que pervive hasta nuestros días (Figura 5).

Los efectos de este “trasplante” del manto litosférico bajo Iberia son visibles en la actualidad en el registro geológico, en la forma de rocas que se fundieron por el calor transmitido por el nuevo manto caliente y que dieron lugar a una gran cantidad de rocas volcánicas, granitos y mineralizaciones asociadas que son buena parte de la base de la minería metálica existente en la península ibérica.

Agradecimientos: Esta investigación ha sido financiada por el Ministerio de Ciencia e Innovación a través del Proyecto O.D.R.E. II (Oroclinales y Delaminación, Relaciones y Efectos; CGL2009-1367). ●